

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002194483  
PUBLICATION DATE : 10-07-02

APPLICATION DATE : 27-12-00  
APPLICATION NUMBER : 2000399075

APPLICANT : SUMITOMO METALS (KOKURA) LTD;

INVENTOR : HORIMOTO MASAYUKI;

INT.CL. : C22C 38/00 C22C 38/60

TITLE : STEEL FOR MACHINE STRUCTURE

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide steel for a machine structure which has excellent induction hardenability, cold workability, machinability and fatigue resistance.

SOLUTION: (1) The steel for a machine structure has a composition containing 0.30 to 0.60% C, 0.01 to 0.40% Si, 0.10 to 0.60% Mn, 0.005 to 0.05% S, 0.05 to 0.2% Ti, 0.0005 to 0.005% B and Nb, Cu, Ni, Cr, Mo and Al, and the balance Fe with impurities, and in which the value of  $Ti-3S-3.4N$  is  $\geq 0$ . Further, the maximum diameter of the equivalent circle of inclusions expressed by  $(\pi LW/4)^{0.5}$  when the cumulative distribution function estimated by extremum statistical treatment with the length of the inclusions in the longitudinal cross-section in the longitudinal direction as L ( $\mu m$ ), and the breadth as W ( $\mu m$ ) is 99% is  $\leq 30 \mu m$ . (2) It is possible that the content of Ti is  $\leq 0.2\%$ , the content of Zr is  $\leq 0.2\%$ , the value of  $Ti+Zr-3S-3.4$  is  $\geq 0$ , and V may be contained therein.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-194483

(P2002-194483A)

(43) 公開日 平成14年7月10日 (2002.7.10)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

C 2 2 C 38/00  
38/60

識別記号

3 0 1

F I

C 2 2 C 38/00  
38/60

テマコード\* (参考)

3 0 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-399075 (P2000-399075)

(22) 出願日 平成12年12月27日 (2000. 12. 27)

(31) 優先権主張番号 特願2000-302697 (P2000-302697)

(32) 優先日 平成12年10月2日 (2000. 10. 2)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願2000-321735 (P2000-321735)

(32) 優先日 平成12年10月20日 (2000. 10. 20)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 300039236

株式会社住友金属小倉

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地

(72) 発明者 佐藤 武史

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地 株

式会社住友金属小倉内

(72) 発明者 鈴木 大輔

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地 株

式会社住友金属小倉内

(74) 代理人 100103481

弁理士 森 道雄 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 機械構造用鋼材

(57) 【要約】

【課題】 高周波焼入れ性、冷間加工性、被削性、耐疲労特性に優れた機械構造用鋼材を提供する。

【解決手段】 ①C: 0.30~0.60%、Si: 0.01~0.40%、Mn: 0.10~0.60%、S: 0.005~0.05%、Ti: 0.05~0.2%、B: 0.0005~0.005%と Nb、Cu、Ni、Cr、Mo、Alを含有し、残部はFeと不純物からなり、Ti-3S-3.4Nの値が0以上で、更に、長手方向縦断面における介在物の長径をL (μm)、短径をW (μm) として極値統計処理によって予測される累積分布関数が99%時の  $(\pi L W / 4)^{0.5}$  で表される介在物の最大等価円直径が30μm以下である機械構造用鋼材。②Ti ≤ 0.2%、Zr ≤ 0.2%、Ti + Zr - 3S - 3.4Nの値が0以上でVを含んでいてもよい。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】化学組成が質量％で、C：0.30～0.60％、Si：0.01～0.40％、Mn：0.10～0.60％、S：0.005～0.05％、Ti：0.05～0.2％、B：0.0005～0.005％、Nb：0～0.05％、Cu：0～0.20％、Ni：0～0.20％、Cr：0～0.20％、Mo：0～0.20％、Al：0.01％以下を含有し、残部は

$$f_{n1} = Ti(\%) - 3S(\%) - 3.4N(\%) \dots (1)$$

$$f_{n2} = (\pi LW/4)^{0.5} \dots (2)$$

【請求項2】化学組成が質量％で、C：0.30～0.60％、Si：0.01～0.40％、Mn：0.10～0.60％、S：0.005～0.05％、Ti：0.2％以下、Zr：0.2％以下で、且つ、Ti(％)＋Zr(％)：0.05～0.2％、B：0.0005～0.005％、Nb：0～0.05％、V：0～0.3％、Cu：0～0.20％、Ni：0～0.20％、Cr：0～0.20％、Mo：0～0.20％、Al：0.01％以下を含有し、残部はFe及び不純物

$$f_{n3} = Ti(\%) + Zr(\%) - 3S(\%) - 3.4N(\%) \dots (3)$$

$$f_{n2} = (\pi LW/4)^{0.5} \dots (2)$$

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、機械構造用鋼材に関する。詳しくは、自動車の等速ジョイントやシャフトを初めとした各種の高周波焼入れされる部品の素材として好適な機械構造用鋼材に関する。更に詳しくは、高周波焼入れ性、冷間加工性、被削性及び耐疲労特性に優れ、高周波焼入れされる部品の素材として好適な機械構造用鋼材に関する。

## 【0002】

【従来の技術】動力機械の出力アップや燃費向上のための軽量化を目的に、動力伝達部品の高強度化が求められている。なかでも、自動車の等速ジョイントやシャフトに対する高強度化の要求が大きい。

【0003】自動車の等速ジョイントやシャフトなどは、鍛造後の寸法精度が高く切削量の低減が可能な冷間鍛造で成形加工された後、表面硬化処理としての高周波焼入れが施されて製造されることが多い。したがって、素材となる鋼材には良好な高周波焼入れ性が要求される。なお、近年、一層のコスト低減及び製造工程の簡便化のために、良好な高周波焼入れ性を有するとともに、より優れた被削性と冷間加工性とを有する鋼材に対する要求が大きくなっている。又、上記自動車の等速ジョイントやシャフトなどには繰り返し応力が作用するため、耐疲労特性が一層優れた鋼材に対する要求も大きくなっている。

【0004】高周波焼入れ性を確保しながら被削性と冷間加工性のいずれか一方を高める技術は従来数多く報告されているが、被削性と冷間加工性の双方を高めることに

Fe及び不純物からなり、不純物中のNは0.008％以下、O(酸素)は0.0025％以下、且つ、下記(1)式で表される $f_{n1}$ の値が0以上であり、更に、長手方向縦断面における非金属介在物の長径を $L(\mu m)$ 、短径を $W(\mu m)$ として極値統計処理によって予測される累積分布関数が99％時の下記(2)式で表される非金属介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ が $30\mu m$ 以下である機械構造用鋼材。

からなり、不純物中のNは0.008％以下、O(酸素)は0.0025％以下、且つ、下記(3)式で表される $f_{n3}$ の値が0以上であり、更に、長手方向縦断面における非金属介在物の長径を $L(\mu m)$ 、短径を $W(\mu m)$ として極値統計処理によって予測される累積分布関数が99％時の下記(2)式で表される非金属介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ が $30\mu m$ 以下である機械構造用鋼材。

関しては必ずしも配慮されていない。例えば、特開平9-287054号公報に「冷間鍛造—高周波焼入れ用鋼」として、又、特開平9-287055号公報に「冷間加工性の優れた高周波焼入れ用鋼」として、冷間加工性と高周波焼入れ性とを兼備できる鋼が開示されている。しかし、上記の各公報で提案された鋼の場合には被削性に関しては全く配慮されていない。

【0005】鋼にPb、Te、Bi、Caなどの快削元素(被削性改善元素)を添加すれば被削性が高まることはよく知られている。しかし、特開平7-97656号公報の「冷間鍛造用鋼」として開示された鋼のように、単に上記快削元素を添加しただけでは冷間加工性の低下が生ずることがある。

【0006】特開平7-242989号公報に「冷間鍛造性、被削性及びねじり疲労強度に優れた高周波焼入れ用鋼」として提案された鋼では、被削性向上のためにB窒化物を利用しているが、焼入れ性との両立のためにCr、Ni、Moなどの合金元素を多量に添加する必要があり、このため冷間加工時の変形抵抗が大きくなって、十分な冷間加工性が確保できない場合がある。

【0007】特開平11-1743号公報には「被削性に優れた高強度高靱性調質鋼材」として、Ti硫化物のサイズと量を制御することで被削性を向上させる技術が提案されている。しかし、鋼を冷間加工する場合には硫化物だけではなく酸化物、窒化物などの非金属介在物(以下、単に介在物という)が冷間加工性の低下を引き起こすことがあるため、単にTi硫化物のサイズと量を規定するだけでは、被削性と冷間加工性の両立が図れない場合がある。一方、耐疲労特性を高める技術が、例え

ば、特開平8-283910号公報に提案されている。上記公報に記載の技術は、フェライトの組織分率と粒径を規制して疲労強度の向上を図ろうとするものである。

【0008】しかしながら、機械構造部品の表面付近に大型の介在物が存在すると、これを起点に疲労き裂が発生して破壊に到るので、フェライトの組織と粒径を規制しても必ずしも疲労強度の向上に繋がらない場合もある。

【0009】介在物を低減して耐疲労特性を高める技術が、例えば、特開平8-283910号公報に開示されている。上記公報で提案された技術は、 $Al_2O_3$ （酸化物）とTiN（窒化物）を極力少なくすることにより、疲労特性の向上を図ったものである。

【0010】しかし、自動車の等速ジョイントやシャフトなど実際の部品に加わる応力は、圧延方向や鍛錬軸に垂直に作用することが多いので、酸化物や窒化物に比べて圧延方向や鍛錬軸方向に展伸している粗大なMnSが疲労破壊の起点となる。すなわち、自動車の等速ジョイントやシャフトなどにおいては、酸化物や窒化物よりもMnSが疲労強度低下の原因となるので、疲労強度向上のためには、酸化物と窒化物だけではなく、MnSを含む全ての介在物を微細にコントロールする必要がある。

【0011】硫化物系の介在物、なかでもMnSを微細化する技術として、既に述べた特開平11-1743号公報が挙げられるが、上記公報においては全介在物についての検討がなされているわけではないので、圧延方向や鍛錬軸に垂直な応力が作用する場合の疲労強度を高め

$$f_{n1} = Ti(\%) - 3S(\%) - 3.4N(\%) \cdots (1)$$

$$f_{n2} = (\pi LW/4)^{0.5} \cdots (2)$$

(2) 化学組成が質量%で、C:0.30~0.60%、Si:0.01~0.40%、Mn:0.10~0.60%、S:0.005~0.05%、Ti:0.2%以下、Zr:0.2%以下で、且つ、 $Ti(\%) + Zr(\%)$ :0.05~0.2%、B:0.0005~0.005%、Nb:0~0.05%、V:0~0.3%、Cu:0~0.20%、Ni:0~0.20%、Cr:0~0.20%、Mo:0~0.20%、Al:

$$f_{n3} = Ti(\%) + Zr(\%) - 3S(\%) - 3.4N(\%) \cdots (3)$$

$$f_{n2} = (\pi LW/4)^{0.5} \cdots (2)$$

なお、本発明でいう鋼材の「長手方向縦断面」（以下、「L断面」という）とは、鋼材の圧延方向又は鍛錬軸に平行に、その中心線を通して切断した面をいう。又、L断面において、極値統計処理によって予測される累積分布関数が99%時の前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ は次のようにして求めたものを指す。

【0015】①鋼材から採取した試験片のL断面を鏡面研磨した後、その研磨面を被検面とし、光学顕微鏡の倍率を400倍として、JIS G 0555に規定された「鋼の非金属介在物の顕微鏡試験方法」中の「5. 点算法による顕微鏡試験方法」に則って50視野測定し、個々の介在

るのには必ずしも十分とはいえない。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記現状に鑑みなされたもので、その目的は、高周波焼入れ性、冷間加工性及び被削性に優れ、しかも、耐疲労特性、なかでも圧延方向や鍛錬軸に垂直な応力が負荷された場合の耐疲労特性にも優れ、高周波焼入れされる部品の素材として好適な機械構造用鋼材を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記(1)及び(2)に示す機械構造用鋼材にある。

【0014】(1) 化学組成が質量%で、C:0.30~0.60%、Si:0.01~0.40%、Mn:0.10~0.60%、S:0.005~0.05%、Ti:0.05~0.2%、B:0.0005~0.005%、Nb:0~0.05%、Cu:0~0.20%、Ni:0~0.20%、Cr:0~0.20%、Mo:0~0.20%、Al:0.01%以下を含有し、残部はFe及び不純物からなり、不純物中のNは0.008%以下、O(酸素)は0.0025%以下、且つ、下記(1)式で表される $f_{n1}$ の値が0以上であり、更に、長手方向縦断面における介在物の長径を $L(\mu m)$ 、短径を $W(\mu m)$ として極値統計処理によって予測される累積分布関数が99%時の下記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ が $30\mu m$ 以下である機械構造用鋼材。

0.01%以下を含有し、残部はFe及び不純物からなり、不純物中のNは0.008%以下、O(酸素)は0.0025%以下、且つ、下記(3)式で表される $f_{n3}$ の値が0以上であり、更に、長手方向縦断面における非金属介在物の長径を $L(\mu m)$ 、短径を $W(\mu m)$ として極値統計処理によって予測される累積分布関数が99%時の下記(2)式で表される非金属介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ が $30\mu m$ 以下である機械構造用鋼材。

物の長径を $L(\mu m)$ 、短径を $W(\mu m)$ として、各視野における $(\pi LW/4)^{0.5}$ の値が最大になるものを求める。

【0016】②上記①で求めた50の $(\pi LW/4)^{0.5}$ の値を小さいものから順に並べ直してそれぞれ $(\pi LW/4)^{0.5}_j$  (ここで、 $j=1\sim 50$ )とし、それぞれの $j$ について累積分布関数 $F_j = 100(j/51)$ (%)を計算する。

【0017】③基準化変数 $y_j = -\log_e(-\log_e(j/51))$ を縦軸に、横軸に $(\pi LW/4)^{0.5}_j$ を取ったグラフを書き、最小自乗法によって近似直線

を求める。

【0018】④上記③で求めた直線から、累積分布関数  $F_j$  が99%となる時(すなわち、基準化変数  $y_j = 4.6$  となる時)の  $(\pi L W / 4)^{0.5} y_j$  の値を読みとり、これを最大等価円直径  $f_{n2} = (\pi L W / 4)^{0.5}$  とする。以下、上記の(1)、(2)に記載のものをそれぞれ(1)の発明、(2)の発明という。

【0019】本発明者らは、前記した課題を解決するために種々検討を行い、下記の知見を得た。

【0020】(a) L断面において、全介在物の極値統計処理によって予測される累積分布関数が99%時の前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径  $f_{n2}$  が  $30\mu\text{m}$  以下であれば、介在物起点による冷間加工性の低下が防止できるとともに、圧延方向や鍛錬軸に垂直な応力が作用する場合の疲労強度の低下を防止することができる。そこで更に検討を続けた結果、下記の事項が明らかになった。

(b) 上記(a)における介在物の最大等価円直径  $f_{n2}$  を  $30\mu\text{m}$  以下とするには、第1に粗大なMnSが生成することを防止すればよい。

【0021】(c) Alの含有量を質量%で0.01%以下に抑え、Mnよりも安定して硫化物を形成するTiやZrを添加し、更に、前記(1)式で表される  $f_{n1}$  の値や前記(3)式で表される  $f_{n3}$  の値を0以上とすれば、Ti硫化物やZr硫化物の形成によって粗大なMnSの生成が防止でき、しかも、生成するTi硫化物やZr硫化物は微細である。なお、本発明でいうTi硫化物やZr硫化物には、TiやZrの単なる硫化物だけではなく「炭硫化物」をも含む。

【0022】(d) Alは鋼中で酸化物となって容易にクラスターを形成するが、Al含有量を質量%で0.01%以下にするとともに適正量のTiやZrを添加することで、酸化物クラスターの形成を防止することもできる。

(e) Nの含有量を質量%で0.008%以下とすれば、粗大なTiNやZrNの形成を防止することができる。

【0023】本発明は、上記の知見に基づいて完成されたものである。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の各要件について詳しく説明する。なお、各元素の含有量の「%」表示は「質量%」を意味する。

(A) 鋼材の化学組成

C : Cは、高周波焼入れ性に影響を及ぼし、焼入れ硬化層の硬さと深さを確保するために必要な元素で、そのためには0.30%以上含有させることが必要である。しかし、Cを0.60%を超えて含有させると冷間加工性及び靱性が損なわれるし、被削性が低下する。更に焼入れの発生を招くこともある。したがって、Cの含有量を

0.30~0.60%とした。なお、Cの含有量は0.35~0.55%とすることが好ましい。

【0025】Si : Siは、鋼の脱酸及び強化に有効な元素である。しかし、その含有量が0.01%未満では添加効果に乏しい。一方、0.40%を超えると冷間加工時の変形抵抗が大きくなって冷間加工性の低下を招いたり被削性が低下することがある。したがって、Siの含有量を0.01~0.40%とした。なお、Siの含有量は0.01~0.30%とすることが好ましい。

【0026】Mn : Mnは、脱酸作用を有し、又、焼入れ性を高めて疲労強度を向上させる作用がある。しかし、その含有量が0.10%未満では前記効果が得難い。一方、Mn含有量が0.60%を超えると、冷間加工時の変形抵抗が大きくなって冷間加工性が低下したり被削性が低下することがある。したがって、Mnの含有量を0.10~0.60%とした。なお、Mnの含有量は0.10~0.45%とすることが好ましい。

【0027】S : Sは、Ti、ZrやMnと結合して硫化物を形成し、鋼の被削性を高める作用を有する。しかし、その含有量が0.005%未満では前記の効果が得られない。一方、Sを多量に含有させると硫化物系介在物の生成量が多くなりすぎて冷間加工性が低下し、特に、S含有量が0.05%を超えると冷間加工性の低下が著しくなる。したがって、Sの含有量を0.005~0.05%とした。なお、Sの含有量は0.005~0.03%とすることが好ましい。

【0028】Ti、Zr : Ti、Zrは本発明において粗大なMnSの生成を防止するための重要な合金元素である。又、Ti、Zrには鋼を脱酸、脱窒する作用や、高周波焼入れ時の結晶粒粗大化を防止する作用がある。

【0029】Tiを単独で添加する場合、その含有量が0.05%以上の場合に前記の効果が確実に得られる。更に、TiがSと結合したTi硫化物によって被削性が向上する。なお既に述べたように、本発明でいうTi硫化物には、Tiの単なる硫化物だけではなく「炭硫化物」をも含む。しかし、Tiを0.2%を超えて多量に含有させても、Ti硫化物の形成による粗大MnSの生成防止効果が飽和するし、鋼の脱酸、脱窒作用なども飽和するのでコストが高んでしまう。したがって、(1)の発明にあつてはTiの含有量を0.05~0.2%とした。なお、(1)の発明の場合には、Tiの含有量は0.05~0.15%とすることが好ましい。

【0030】一方、上記の効果は、TiとZrの含有量に関し、 $Ti(\%) + Zr(\%)$ の値が0.05%以上の場合にも確実に得られる。しかし、 $Ti(\%) + Zr(\%)$ の値で0.2%を超えるTiとZrを含有させても、Ti硫化物やZr硫化物の形成による粗大MnSの生成防止効果が飽和するし、鋼の脱酸、脱窒作用や、高周波焼入れ時の結晶粒粗大化防止作用が飽和するのでコストが高んでしまう。なお、 $Ti(\%) + Zr(\%)$ の

値で0.05~0.2%でありさえすればよいので、必ずしもTiとZrとを複合して含有させる必要はない。Zrを添加しない場合は前記した(1)の発明になり、この場合はTiを0.2%を超えて含有させると疲労強度の劣化が著しくなる場合がある。Tiを添加しない、つまりZrを単独で添加する場合に、Zrを0.2%を超えて多量に含有させても、Zr硫化物の形成による粗大MnSの生成防止効果が飽和するし、鋼の脱酸、脱窒作用なども飽和するのでコストが高んでしまう。したがって、(2)の発明にあつてはTiとZrの含有量をいづれも0.2%以下で、且つ、Ti(%) + Zr(%)の値を0.05~0.2%とした。なお、(2)の発明の場合、Ti(%) + Zr(%)の値は0.05~0.15%とすることが好ましい。なお既に述べたように、本発明でいうZr硫化物には、Zrの単なる硫化物だけではなく「炭硫化物」をも含む。

【0031】B：Bは、冷間加工性を阻害することなく焼入れ性を高める作用がある。しかし、その含有量が0.0005%未満では添加効果に乏しい。一方、0.005%を超えて含有させても前記の効果は飽和しコストが高むばかりである。したがって、Bの含有量を0.0005~0.005%とした。なお、Bの含有量は0.0005~0.004%とすることが好ましい。Nb：Nbは添加しなくてもよい。添加すれば、高周波焼入れ性を高める作用があり、更に、高周波焼入れ時の結晶粒粗大化を防止する作用も有する。この効果を確実に得るには、Nbは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.05%を超えると、粗大な未固溶炭窒化物が生じて冷間加工性の劣化を招くことがある。したがって、Nbの含有量を0~0.05%とした。

V：Vは添加しなくてもよい。添加すれば、微細な炭・窒化物を形成して疲労強度を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Vは0.05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.3%を超えると、冷間加工性の劣化を招くことがある。したがって、Vの含有量を0~0.3%とした。

【0032】Cu：Cuは添加しなくてもよい。添加すれば焼入れ性を高める効果を有する。この効果を確実に得るには、Cuは0.02%以上の含有量とすることが好ましいが、その反面においてCuは、変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させ、特に、Cuの含有量が0.20%を超えると冷間加工性の劣化が著しくなることがある。したがって、Cuの含有量を0~0.20%とした。

【0033】Ni：Niは添加しなくてもよい。添加すれば焼入れ性を高める効果を有する。この効果を確実に得るには、Niは0.02%以上の含有量とすることが好ましいが、その反面においてNiは、変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させ、更に、球状化焼鈍後のスケー

ル除去を困難にし、特に、Niの含有量が0.20%を超えると冷間加工性の劣化、スケール除去性の低下が著しくなることがある。したがって、Niの含有量を0~0.20%とした。

【0034】Cr：Crは添加しなくてもよい。添加すれば焼入れ性を高める効果を有する。この効果を確実に得るには、Crは0.02%以上の含有量とすることが好ましいが、その反面においてCrは、変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させ、更に、球状化焼鈍後のスケール除去を困難にし、特に、Crの含有量が0.20%を超えると冷間加工性の劣化、スケール除去性の低下が著しくなることがある。したがって、Crの含有量を0~0.20%とした。

【0035】Mo：Moは添加しなくてもよい。添加すれば焼入れ性を高める効果を有する。この効果を確実に得るには、Moは0.02%以上の含有量とすることが好ましいが、その反面においてMoは、変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させ、更に、球状化焼鈍後のスケール除去を困難にし、特に、Moの含有量が0.20%を超えると冷間加工性の劣化、スケール除去性の低下が著しくなることがある。したがって、Moの含有量を0~0.20%とした。

【0036】なお、焼入れ性を高める目的でCu、Ni、Cr、Moを添加する場合には、これらの元素の1種以上を添加すればよい。

【0037】Al：Alは添加しなくてもよい。脱酸などの目的からAlを添加する場合でも、本発明においては、Alの含有量を0.01%以下に抑えることが極めて重要である。すなわち、Alの含有量を0.01%以下に抑え、Ti、Zr、Sを既に述べた範囲の含有量とし、更に、前記(1)式で表される $f_{n1}$ の値、前記(3)式で表される $f_{n3}$ の値を0以上にすることで、Ti硫化物、Zr硫化物は微細になり、粗大なMnSの生成が防止されるし、酸化物クラスターの形成も防止されるからである。Alの含有量が0.01%を超えると、 $f_{n2}$ の値が $30\mu\text{m}$ を超えることがあるため、たとえ他の条件が満たされても疲労強度と冷間加工性が著しく低下する場合がある。したがって、Alの含有量を0.01%以下とした。なお、Al含有量の上限は0.008%とすることが好ましい。

【0038】本発明においては、不純物元素としてのN及びO(酸素)の含有量を下記のとおり制限する。

【0039】N：Nは、変形抵抗を高めて冷間加工性を低下させ、又、Ti、Zrと結合して粗大なTiN、ZrNが生成すると疲労強度が低下する。特に、Nの含有量が0.008%を超えると、 $f_{n1}$ あるいは $f_{n3}$ の値が0以上であっても、 $f_{n2}$ の値が $30\mu\text{m}$ を超えることがあるため、冷間加工性と疲労強度の低下が著しくなる場合がある。したがって、不純物元素としてのNの含有量は0.008%以下とした。なお、不純物元素と

してのNの含有量は0.006%以下とすることが好ましい。

【0040】O(酸素)：O(酸素)は酸化物を形成して鋼中に存在し、疲労強度や冷間加工性を低下させる。特に、Oの含有量が0.0025%を超えると、 $f_{n1}$ あるいは $f_{n3}$ の値が0以上であっても、 $f_{n2}$ の値が $30\mu\text{m}$ を超えることがあるため、疲労強度の低下や冷間加工性の低下が著しくなる場合がある。したがって、不純物元素としてのOの含有量は0.0025%以下とした。なお、不純物元素としてのOの含有量は0.0015%以下とすることが好ましい。なお、N及びO(酸素)以外の不純物元素のうちPの含有量は0.03%以下とすることが好ましい。

【0041】 $f_{n1}$ 、 $f_{n3}$ ：(1)の発明において、Ti、S、Alを既に述べた範囲の含有量とし、更に、前記(1)式で表される $f_{n1}$ の値を0以上にすることで、Ti硫化物が微細になり、粗大なMnSの生成が防止され、更に、酸化物クラスターの形成も防止できるので、良好な被削性と冷間加工性とを確保することができる。又、耐疲労特性の低下を防止することができる。 $f_{n1}$ の値が0未満の場合、粗大なMnSの生成を抑制することができず、したがって、L断面において、前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ を $30\mu\text{m}$ 以下にすることができないので、大幅な疲労強度の低下が生じる。更に冷間加工性も低下してしまう。このため、(1)の発明における $f_{n1}$ の値を0以上と規定した。なお、既に述べた範囲のTi、S、Al、N及びOの含有量の下で、Ti硫化物の微細化、粗大なMnSの生成防止及び酸化物クラスターの形成防止の各作用を安定して確保し、一層良好な被削性と冷間加工性を確保するとともに、耐疲労特性の低下を防止するためには、 $f_{n1}$ の値は0.01以上であることが好ましい。

(2)の発明において、Ti、Zr、S、Alを既に述べた範囲の含有量とし、更に、前記(3)式で表される $f_{n3}$ の値を0以上にすることで、Ti硫化物、Zr硫化物が微細になり、粗大なMnSの生成が防止され、更に、酸化物クラスターの形成も防止できるので、良好な被削性と冷間加工性とを確保することができ、又、耐疲労特性の低下を防止することができる。 $f_{n3}$ の値が0未満の場合、粗大なMnSの生成を抑制することができず、したがって、L断面において、前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ を $30\mu\text{m}$ 以下にすることができないので、大幅な疲労強度の低下が生じる。更に冷間加工性も低下してしまう。このため、(2)の発明における $f_{n3}$ の値を0以上と規定した。なお、既に述べた範囲のTi、Zr、S、Al、N及びOの含有量の下で、Ti硫化物やZr硫化物の微細化、粗大なMnSの生成防止及び酸化物クラスターの形成防止の各作用を安定して確保し、一層良好な被削性と冷間加工性を確保するとともに、耐疲労特性の低下を防止するために

は、 $f_{n3}$ の値は0.01以上であることが好ましい。

#### (B) 介在物

前記(A)項に記載した化学成分に加えて、硫化物、酸化物、窒化物など全介在物のサイズを制御することではじめて、機械構造用鋼材に良好な高周波焼入れ性、冷間加工性と被削性とを具備させることができ、更に、良好な耐疲労特性、なかでも圧延方向や鍛錬軸に垂直な応力が負荷された場合における良好な耐疲労特性を付与することができる。すなわち、L断面において、全介在物の極値統計処理によって予測される累積分布関数が99%時の前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ が $30\mu\text{m}$ 以下の場合に、介在物起点による冷間加工性の低下が防止され、加えて、圧延方向や鍛錬軸に垂直な応力が作用する場合の疲労強度の低下が防止される。

【0042】L断面において、前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ が $30\mu\text{m}$ を超える場合には、介在物起点の破壊が生じて冷間加工性(特に限界据え込み率)が低下するし、疲労強度も大きく低下してしまう。

【0043】したがって、L断面において、全介在物の極値統計処理によって予測される累積分布関数が99%時の前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ を $30\mu\text{m}$ 以下と規定した。前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ は $20\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0044】なお、前記(A)項で述べた化学成分範囲、及び(1)式で表される $f_{n1}$ の値や(3)式で表される $f_{n3}$ の値に関する規定を満たしても、酸化物などの生成によって、前記した介在物の最大等価円直径 $f_{n2}$ が $30\mu\text{m}$ を超える場合があるため、例えば、転炉溶製後、Siなど脱酸作用を有する元素で十分に脱酸し、その後通常の方法で炉外精錬を行い、その処理の末期にTiやZrを添加する製鋼法を採用することが望ましい。

【0045】以下、実施例により本発明を説明する。

#### 【0046】

【実施例】(実施例1)表1～3に示す化学組成を有する鋼を試験溶解炉を用いて溶製した。表1～3では前記 $f_{n1}$ と $f_{n3}$ は(3)式で計算した値を $f_n$ として記載した。

【0047】表1～3における鋼1～18及び鋼35は成分が本発明で規定する条件を満たす鋼、表2、表3における鋼19～34及び鋼36～38は成分のいずれかが本発明で規定する条件から外れた比較例の鋼である。比較例の鋼のうち鋼36～38はCの含有量がそれぞれ0.40、0.50、0.58%のJIS機械構造用炭素鋼、すなわち、JIS G 4051に記載のS40C、S50C、S58Cに相当する鋼である。なお、鋼1～38におけるPの含有量はすべて0.03%以下であった。

【0048】鋼27と鋼35を除いた上記の鋼は、真空溶解炉を用いて溶製し、Al、Si等で脱酸した後、T

i、Zrの少なくとも1種以上を添加して製造した。一方、鋼27と鋼35は、大気溶解炉を用いて溶製し、Al、Siで脱酸した後、Ti、Zrの少なくとも1種以

上を添加して製造した。  
【0049】  
【表1】

表 1

	化 学 組 成 (質量%)											残部：Feおよび不純物						
	C	Si	Mn	S	Ti	Zr	Ti+Zr	Al	B	O	N	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	fn
1	0.49	0.03	0.29	0.010	0.070	-	0.070	0.007	0.0015	0.0012	0.0037	-	-	-	-	0.032	-	0.027
2	0.48	0.03	0.29	0.025	0.110	-	0.110	0.008	0.0015	0.0015	0.0040	-	-	-	-	0.033	-	0.021
3	0.42	0.08	0.30	0.022	0.099	-	0.099	0.006	0.0016	0.0012	0.0032	-	-	0.11	-	-	0.025	0.022
4	0.54	0.09	0.28	0.017	0.071	-	0.071	0.008	0.0016	0.0014	0.0033	0.05	0.06	-	-	-	-	0.009
5	0.47	0.05	0.23	0.008	0.054	-	0.054	0.009	0.0020	0.0019	0.0048	-	-	-	-	-	0.077	0.014
6	0.47	0.05	0.24	0.009	0.065	-	0.065	0.008	0.0015	0.0013	0.0041	-	-	-	-	-	-	0.024
7	0.38	0.12	0.45	0.029	0.107	-	0.107	0.009	0.0019	0.0011	0.0024	-	-	-	-	-	-	0.012
8	0.42	0.06	0.10	0.008	0.060	-	0.060	0.009	0.0016	0.0013	0.0035	-	-	0.12	0.04	0.030	-	0.024
9	0.48	0.04	0.26	0.030	0.101	0.022	0.123	0.005	0.0017	0.0013	0.0024	-	-	-	-	-	-	0.025
10	0.46	0.13	0.22	0.027	0.064	0.049	0.113	0.007	0.0016	0.0017	0.0040	-	0.03	0.08	-	-	-	0.018
11	0.37	0.13	0.32	0.039	-	0.141	0.141	0.007	0.0013	0.0020	0.0024	-	-	-	-	-	-	0.016
12	0.44	0.11	0.27	0.013	-	0.071	0.071	0.009	0.0022	0.0017	0.0037	-	-	0.09	0.07	0.015	0.068	0.019
13	0.44	0.16	0.14	0.022	-	0.086	0.086	0.008	0.0016	0.0016	0.0028	-	-	-	-	0.036	0.091	0.010

【表2】

表 2

	化 学 組 成 (質量%)											残部：Feおよび不純物						
	C	Si	Mn	S	Ti	Zr	Ti+Zr	Al	B	O	N	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	fn
14	0.49	0.12	0.13	0.024	-	0.099	0.099	-	0.0015	0.0017	0.0031	-	-	-	-	-	-	0.016
15	0.42	0.27	0.31	0.023	0.088	-	0.088	0.008	0.0021	0.0020	0.0038	-	-	0.16	-	-	-	0.006
16	0.51	0.15	0.22	0.021	0.074	-	0.074	0.009	0.0018	0.0018	0.0029	-	-	0.12	0.06	-	-	0.001
17	0.43	0.19	0.33	0.025	0.104	-	0.104	0.008	0.0016	0.0019	0.0030	-	0.05	0.11	0.03	-	-	0.019
18	0.40	0.25	0.19	0.030	0.115	-	0.115	0.007	0.0025	0.0021	0.0041	0.05	0.03	0.09	0.03	-	-	0.011
19	0.62	0.34	0.28	0.012	0.062	-	0.062	0.010	0.0012	0.0017	0.0033	-	-	0.08	-	-	0.039	0.015
20	0.53	0.65	0.53	0.022	0.112	-	0.112	0.010	0.0022	0.0011	0.0032	-	-	-	-	-	-	0.035
21	0.44	0.12	0.86	0.014	0.071	-	0.071	0.009	0.0017	0.0021	0.0037	-	-	0.13	-	0.038	-	0.016
22	0.47	0.39	0.47	0.069	0.053	-	0.053	0.009	0.0014	0.0013	0.0026	-	-	0.11	-	0.032	-	0.163
23	0.47	0.11	0.44	0.022	0.225	-	0.225	-	0.0011	0.0017	0.0028	-	-	-	-	0.021	-	0.149
24	0.43	0.31	0.51	0.029	-	0.245	0.245	-	0.0016	0.0015	0.0025	-	0.03	-	0.03	-	-	0.150
25	0.49	0.14	0.49	0.021	0.091	-	0.091	0.034	0.0015	0.0022	0.0030	-	-	-	-	0.029	-	0.018
26	0.46	0.13	0.42	0.030	0.035	0.022	0.057	0.009	-	0.0019	0.0041	-	-	-	-	-	-	0.047

アンダーラインをつけたものは本発明の規定条件から外れていることを示す。

【表3】

表 3

	化 学 組 成 (質量%)										残部: Feおよび不純物							
	C	Si	Mn	S	Ti	Zr	Ti+Zr	Al	B	O	N	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	f <sub>n</sub>
27	0.48	0.10	0.55	0.006	0.050	0.013	0.063	0.006	0.0022	0.0041	0.0038	-	-	-	-	0.036	-	0.032
28	0.42	0.09	0.35	0.014	0.059	-	0.059	0.008	0.0021	0.0016	0.0088	-	0.05	0.13	-	-	-	-0.013
29	0.43	0.11	0.57	0.020	0.061	-	0.061	0.009	0.0015	0.0022	0.0049	-	-	-	-	0.072	-	-0.016
30	0.49	0.25	0.37	0.019	0.069	-	0.069	0.005	0.0014	0.0019	0.0044	-	-	-	-	-	0.334	-0.003
31	0.50	0.37	0.39	0.014	0.063	0.017	0.080	0.007	0.0019	0.0013	0.0037	0.24	-	-	0.03	0.002	-	0.025
32	0.47	0.19	0.51	0.022	0.072	-	0.072	0.005	0.0018	0.0010	0.0041	-	0.29	-	-	0.011	-	-0.008
33	0.46	0.05	0.46	0.038	0.053	-	0.053	0.006	0.0016	0.0013	0.0035	-	-	0.22	-	-	-	-0.073
34	0.50	0.11	0.57	0.022	0.054	-	0.054	0.004	0.0021	0.0019	0.0032	0.04	-	-	0.26	-	-	-0.023
35	0.44	0.06	0.31	0.015	0.082	-	0.082	0.008	0.0020	0.0024	0.0068	-	-	0.10	-	-	-	0.014
36	0.40	0.33	0.73	0.020	0.004	-	0.004	0.047	-	0.0018	0.0051	-	-	0.04	-	-	-	-0.073
37	0.50	0.30	0.79	0.024	0.006	-	0.006	0.039	-	0.0022	0.0043	-	-	0.06	-	-	-	-0.081
38	0.58	0.32	0.69	0.019	0.005	-	0.005	0.034	-	0.0022	0.0041	-	-	0.06	-	0.004	-	-0.067

アンダーラインをつけたものは本発明の規定条件から外れていることを示す。

次いで、これらの鋼を1250℃に加熱してから1000℃で仕上げる熱間鍛造を行って、直径60mmの丸棒を作製した。

【0050】上記のようにして得た直径60mmの丸棒は845℃に加熱して2時間保持した後、大気中で放冷した。

【0051】上記の処理を施した直径60mmの丸棒からJIS G 0555の図3に則って介在物測定用の試験片を切り出し、既に述べた方法によって前記(2)式で表される介在物の最大等価円直径 $f_n$ の値を求めた。

【0052】すなわち、①鋼材から採取した試験片のL断面を鏡面研磨した後、その研磨面を被検面とし、光学顕微鏡の倍率を400倍として、JIS G 0555に規定された「鋼の非金属介在物の顕微鏡試験方法」中の「5. 点算法による顕微鏡試験方法」に則って50視野測定し、個々の介在物の長径を $L(\mu m)$ 、短径を $W(\mu m)$ として、各視野における $(\pi LW/4)^{0.5}$ の値が最大になるものを求め、次に、②上記①で求めた50の $(\pi LW/4)^{0.5}$ の値を小さいものから順に並べ直してそれぞれ $(\pi LW/4)^{0.5}_j$  (ここで、 $j=1\sim 50$ )とし、それぞれの $j$ について累積分布関数 $F_j = 100(j/51)(\%)$ を計算した。更に、③基準化変数 $y_j = -\log_e(-\log_e(j/51))$ を縦軸に、横軸に $(\pi LW/4)^{0.5}_j$ を取ったグラフを書き、最小自乗法によって近似直線を求め、最後に、④上記③で求めた直線から、累積分布関数 $F_j$ が99%となる時(すなわち、基準化変数 $y_j \approx 4.6$ となる時)の $(\pi LW/4)^{0.5}_j$ の値を読みとり、これを最大等価円直径

$f_n = (\pi LW/4)^{0.5}$ とした。

【0053】最大等価円直径 $f_n$ を求めた一例として、図1に、鋼4と鋼28の場合を示す。

【0054】冷間加工性の調査は次のようにして行った。すなわち、前記の熱処理を施した直径60mmの丸棒の「R/2部(Rは丸棒の半径、すなわち30mm)」から直径30mmの丸棒を切り出し、通常の方法で球状化焼鈍を施した後この丸棒から直径が15mmで長さが22.5mmの冷間加工用試験片を作製した。次いで、500t高速プレス機を用いて通常の方法で冷間拘束型据え込み試験を行い、割れが発生する限界の据え込み率を測定して冷間加工性の調査を行った。

【0055】なお、据え込み率が75%まで、各条件ごとに5回の据え込み試験を行い、3個以上に割れが発生する最小の据え込み率を限界据え込み率として評価した。更に、全ての鋼の限界据え込み率以下である60%据え込み率の場合の変形抵抗を測定した。

【0056】旋削試験による被削性の調査も行った。すなわち、前記の熱処理を施した直径60mmの丸棒を、超硬工具ST20を用いて、乾式、切削速度100m/分、送り速度0.25mm/rev、切り込み2mmの条件で切削し、逃げ面磨耗量VBが0.2mmまでの切削時間を測定した。

【0057】表4に、前記の各試験結果をまとめて示す。

【0058】

【表4】

表 4

試験番号	鋼	冷間加工性 [据え込み試験]			工具寿命 [被削性] (分)	f n 2 (μm)
		変形抵抗 (MPa)	等C量のJIS規格相当鋼の変形抵抗との比	限界据え込み率 (%)		
1	1	6 5 2	0. 8 4	Ⅲ 7 5	3 1	1 9. 3
2	2	6 3 4	0. 8 3	Ⅲ 7 5	3 2	2 3. 9
3	3	5 8 9	0. 8 3	Ⅲ 7 5	3 5	2 3. 0
4	4	6 9 6	0. 8 5	Ⅲ 7 5	2 6	2 1. 8
5	5	6 2 6	0. 8 3	Ⅲ 7 5	3 3	1 9. 4
6	6	6 2 8	0. 8 3	Ⅲ 7 5	3 3	1 9. 2
7	7	5 7 9	0. 8 6	Ⅲ 7 5	3 7	2 5. 7
8	8	5 6 1	0. 7 9	Ⅲ 7 5	4 0	1 8. 9
9	9	6 2 6	0. 8 2	Ⅲ 7 5	3 3	2 5. 1
10	10	6 1 1	0. 8 2	Ⅲ 7 5	3 4	2 4. 6
11	11	5 4 4	0. 8 2	Ⅲ 7 5	4 1	2 8. 3
12	12	6 0 9	0. 8 4	Ⅲ 7 5	3 5	2 0. 6
13	13	6 0 6	0. 8 3	Ⅲ 7 5	3 5	2 3. 7
14	14	6 2 3	0. 8 0	Ⅲ 7 5	3 4	2 3. 9
15	15	6 3 1	0. 8 9	Ⅲ 7 5	3 3	1 9. 7
16	16	6 8 8	0. 8 7	Ⅲ 7 5	2 7	2 1. 2
17	17	6 3 6	0. 8 9	Ⅲ 7 5	3 2	2 4. 5
18	18	5 8 4	0. 8 5	Ⅲ 7 5	3 7	2 2. 6
19	*19	7 9 1	0. 8 8	Ⅲ 6 9	1 5	2 7. 5
20	*20	7 7 6	0. 9 6	Ⅲ 7 2	1 8	2 9. 2
21	*21	7 4 3	1. 0 2	Ⅲ 7 3	2 2	2 6. 1
22	*22	6 6 1	0. 8 8	Ⅲ 6 4	2 7	*3 7. 0
23	*23	6 6 0	0. 8 7	Ⅲ 6 6	3 0	2 7. 2
24	*24	6 8 3	0. 9 5	Ⅲ 6 3	3 1	*3 1. 4
25	*25	6 9 0	0. 8 9	Ⅲ 6 2	2 7	*3 2. 0
26	*26	6 7 5	0. 9 1	Ⅲ 7 5	2 7	2 7. 7
27	*27	6 9 8	0. 9 1	Ⅲ 6 8	2 6	*3 0. 2
28	*28	6 0 3	0. 8 5	Ⅲ 6 9	3 3	*3 3. 1
29	*29	6 5 0	0. 9 1	Ⅲ 7 5	3 1	*3 6. 8
30	*30	6 8 6	0. 8 9	Ⅲ 7 4	2 7	2 7. 9
31	*31	7 1 0	0. 9 1	Ⅲ 7 3	2 5	2 5. 4
32	*32	6 8 5	0. 9 1	Ⅲ 7 3	2 7	*3 3. 7
33	*33	6 8 8	0. 9 2	Ⅲ 7 2	2 7	*4 1. 9
34	*34	7 1 4	0. 9 1	Ⅲ 7 2	2 4	*3 2. 1
35	35	6 3 3	0. 8 7	Ⅲ 7 0	3 3	*3 3. 1
36	*36	6 7 9	1. 0 0	Ⅲ 7 1	2 8	*4 3. 1
37	*37	7 7 7	1. 0 0	Ⅲ 6 7	1 8	*4 0. 6
38	*38	8 2 1	1. 0 0	Ⅲ 6 2	1 4	*3 8. 3

\*印は本発明の規定から外れていることを示す。

表4から、鋼の化学成分及び介在物の最大等価円直径 f n 2 が本発明で規定する条件を満たす本発明例の試験番号 1 ～ 1 8 の場合、JIS G 4051 に記載の同等の C 含有量を有する機械構造用炭素鋼に相当する鋼を素材とする場合に比べて、据え込み時の変形抵抗は 1 0 % 以上低く、変形能としての割れが発生する限界据え込み率は 7 5 % 以上であるうえに、工具寿命も長いことがわかる。

【0059】これに対して、比較例の試験番号 1 9 ～ 3 5 の場合、(イ) JIS G 4051 に記載の同等の C 含有量を有する機械構造用炭素鋼に相当する鋼に比べて、据え込み時の変形抵抗が 1 0 % 以上低下する、(ロ) 限界据え込み率が 7 5 % 以上、の少なくともいずれかを満たしておらず、工具寿命も短い。

【0060】(実施例2) 前記実施例1で熱処理した直径 6 0 mm の丸棒のうち、鋼 1 ～ 1 8、鋼 2 2 ～ 2 7、鋼 3 2、鋼 3 3、鋼 3 5 ～ 3 8 を素材鋼とするものを用いて平滑小野式回転曲げ疲労試験片(平行部の直径が 6 mm で長さが 2 5 mm) を作製し、耐疲労特性を調査した。

【0061】図2に、各丸棒からのサンプル切り出し方

法を示す。図2に示すように、各丸棒についてその鍛錬軸に平行な方向(以下、「L方向」という)の「R/2部」及び鍛錬軸に垂直な方向(以下、「T方向」という)の中心部からサンプルを採取した。なお、図3に示すように、T方向から採取した各サンプルはその両端を電子ビーム溶接して接合し、L方向から採取したサンプルとともに所定の平滑小野式回転曲げ疲労試験片の寸法に仕上げた。

【0062】上記のようにして得た平滑小野式回転曲げ疲労試験片に、高周波焼入れ深さが 1. 5 mm になる条件で高周波焼入れし、次いで、1 8 0 ° C で焼戻し処理を行った。なお、上記の高周波焼入れ深さが 1. 5 mm になる条件は、各素材鋼に対して予備試験を行って求めておき、この条件で高周波焼入れしたものである。

【0063】小野式回転曲げ疲労試験は室温大気中で行ない、各供試材の 1 0 <sup>7</sup> 回の疲労強度(疲労限度)を測定した。表5に、疲労試験結果を示す。なお、表5には前記実施例1で求めた最大等価円直径 f n 2 の値も併せて示した。

【0064】

【表5】

試験番号	鋼	疲労強度		丸棒の $f_n 2$ [最大等価円直径] ( $\mu\text{m}$ )
		T方向 (MPa)	L方向 (MPa)	
39	1	1005	1118	19.3
40	2	997	1107	23.9
41	3	930	1041	23.0
42	4	1065	1145	21.8
43	5	980	1088	19.4
44	6	965	1092	19.2
45	7	909	977	25.7
46	8	952	1033	18.9
47	9	975	1115	25.1
48	10	968	1077	24.6
49	11	905	968	28.3
50	12	942	1059	20.6
51	13	949	1044	23.7
52	14	1015	1108	23.9
53	15	953	1019	19.7
54	16	1042	1129	21.2
55	17	967	1035	24.5
56	18	920	1001	22.6
57	*22	845	1095	*37.0
58	*23	875	1121	27.2
59	*24	825	1053	*31.4
60	*25	892	1115	*32.0
61	*26	815	898	27.7
62	*27	883	1104	*30.2
63	*32	870	1022	*33.7
64	*33	835	1090	*41.9
65	35	835	1085	*33.1
66	*36	812	1050	*43.1
67	*37	875	1131	*40.6
68	*38	889	1232	*38.3

\*印は本発明の規定条件外であることを示す。

表5から、鋼の化学成分及び介在物の最大等価円直径  $f_n 2$  が本発明で規定する条件を満たす本発明例の試験番号39～56の場合、T方向でも900MPaを超える疲労強度を有しており、しかも、L方向の疲労強度に対するT方向の疲労強度の低下は小さい。したがって、鍛錬軸に垂直な応力が作用する場合の疲労強度が低下しにくいことが明らかである。

【0065】これに対して、比較例の試験番号57～68の場合、L方向の疲労強度に対するT方向の疲労強度の低下が著しい。試験番号64の場合、鋼35の化学成分は本発明で規定する条件を満たすものの、 $f_n 2$  の値が本発明で規定する条件から外れるため、前記本発明例の試験番号39～56の場合に比べて、L方向の疲労強度に対するT方向の疲労強度の低下が著しい。

【0066】

【発明の効果】本発明の機械構造用鋼材は、高周波焼入れ性、冷間加工性、被削性に優れ、更に、疲労強度、なかでもT方向の疲労強度に優れ、圧延方向や鍛錬軸に垂直な応力が負荷された場合の耐疲労特性の低下が防止できるので、自動車の等速ジョイントやシャフトを初めとした各種の高周波焼入れされる部品の素材として利用することができる。

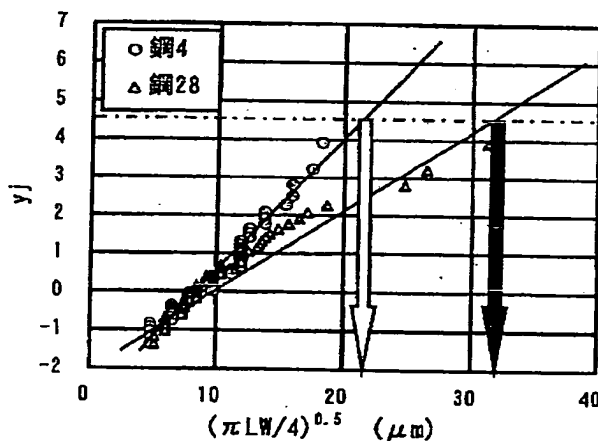
【図面の簡単な説明】

【図1】実施例の鋼材における最大等価円直径  $f_n 2$  の一例を示す図である。

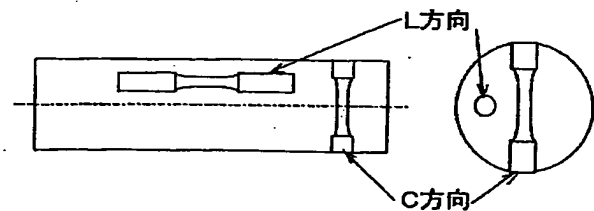
【図2】鍛錬軸に平行な方向及び鍛錬軸に垂直な方向から平滑小野式回転曲げ疲労試験片のサンプルを切り出す方法を説明する図である。

【図3】鍛錬軸に垂直な方向から切り出したサンプルの両端を電子ビーム溶接して接合し、所定の平滑小野式回転曲げ疲労試験片に仕上げたことを説明する図である。

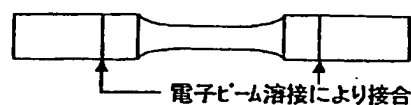
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 松本 斉  
福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地 株  
式会社住友金属小倉内

(72)発明者 新井 貴俊  
福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地 株  
式会社住友金属小倉内

(72)発明者 堀本 雅之  
福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地 株  
式会社住友金属小倉内

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**